

Le système alimentation/excrétion de Paris : oscillations passées, présentes et futures entre linéarité et circularité

Fabien Esculier^{1,2*}, Julia Le Noë², Sabine Barles³, Gilles Billen², Benjamin Créno¹, Josette Garnier², Jacques Lesavre⁴, Léo Petit², Jean-Pierre Tabuchi⁵

¹ Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU). AgroParisTech, École des Ponts ParisTech (ENPC), Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEMLV), Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (UPEC). UMR MA-102.

² Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols (METIS). École Pratique des Hautes Études (EPHE), CNRS, Université Paris VI Pierre et Marie Curie (UPMC). UMR7619.

³ Géographie-Cités. CNRS, Université Paris I – Panthéon-Sorbonne, Université Paris VII – Paris Diderot. UMR 8504.

⁴ Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN).

⁵ Syndicat Interdépartemental d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP)

* personne à contacter : fabien.esculier@ponts.org.

Cette communication s'inscrit dans le cadre du programme OCAPI

(<https://www.leesu.fr/OCAPI>).

L'humanité vit désormais à l'ère de l'Anthropocène : les activités anthropiques modifient profondément le fonctionnement du système Terre et mettent en péril l'épanouissement de l'humanité. Parmi les perturbations les plus intenses identifiées figure la modification des flux biogéochimiques d'azote et de phosphore. Pour leur part anthropique, ces flux sont principalement liés à un système que nous nommons alimentation/excrétion et qui correspond, à l'échelle d'un être humain, à l'absorption de nourriture et à l'excrétion d'urine et de matières fécales, et à l'échelle des villes du monde occidental, à l'approvisionnement en denrées provenant des agrosystèmes et aux systèmes de gestion des biodéchets alimentaires et des eaux usées.

L'impact des émissions d'azote et de phosphore issues des systèmes agricoles ou des systèmes de gestion des eaux usées a déjà été largement étudié, en particulier sur le bassin de la Seine dans le cadre du PIREN-Seine. Nous avons cherché à donner une vision globale de ces enjeux en mettant en évidence l'importance du métabolisme des habitants du bassin de la Seine comme élément central. Nous avons ainsi pris l'agglomération parisienne en 2013 comme cas d'étude et avons mis en œuvre une méthodologie d'analyse de flux de substances appliquée à l'azote et au phosphore pour permettre la caractérisation de son système alimentation/excrétion et le calcul de l'empreinte azote et phosphore du métabolisme de ses habitants.

Il en ressort que le système alimentation/excrétion de l'agglomération parisienne est peu sobre : l'ingestion d'azote (principalement issu des protéines) et de phosphore par ses habitants est environ 1,5 fois supérieure aux besoins physiologiques et induit une augmentation d'autant de tous les autres flux d'azote et de phosphore mis en jeu. La grande quantité de biodéchets alimentaires induit une nouvelle augmentation, à l'amont, d'un facteur de 145%. Leur destination principale est l'incinération qui conduit à une linéarité totale des flux d'azote et de phosphore correspondants, non valorisés et dissipés dans l'atmosphère sous la forme principale du diazote ou enfouis avec les cendres pour le phosphore.

Le régime alimentaire des habitants de l'agglomération parisienne est constitué pour deux tiers d'azote et de phosphore d'origine animale. Or les systèmes agricoles de production de nourriture d'origine animale alimentant Paris sont beaucoup plus impactants que les systèmes de production végétale. Ainsi, le tiers du régime alimentaire, constitué de produits végétaux, provient majoritairement de 150 m² de cultures céréalières du bassin parisien tandis que les systèmes de production animale sont constitués de 500 m² de cultures de soja en Amérique du Sud, 2.000 m² de prairies (principalement dans le grand est) et 2.000 m² de cultures fourragères (principalement dans le grand ouest et le grand est). L'empreinte environnementale

mesurée en termes de flux polluants d'azote est également très contrastée : 0,4 kg d'azote par personne et par an pour les systèmes de production végétale (principalement nitrates) contre plus de 17 kg d'azote par personne et par an pour les systèmes de production animale (principalement nitrates et émissions gazeuses d'ammoniac).

L'utilisation majoritaire d'engrais chimiques azotés induit une consommation totale de 21 kg d'azote par personne et par an, à 90% destinés à la production animale, pour seulement 5 kg d'azote réellement ingéré par les habitants au final.

De l'autre côté du système alimentation/excrétion, le triptyque toilette à chasse d'eau – égout – station d'épuration induit une pollution comparativement limitée (1,9 kg d'azote par personne et par an rejetés en rivière et 0,1 kg dans l'atmosphère sous forme de N₂O) mais une linéarité très forte pour l'azote (5% de recyclage) et assez marquée pour le phosphore (40% de recyclage).

Nous avons plus particulièrement examiné les modalités de gestion des urines et matières fécales de l'agglomération parisienne en les resituant dans une perspective historique. Nous avons ainsi cherché à évaluer le degré de circularité, c'est-à-dire de retour sur des sols agricoles, de l'azote des excréments humains (à près de 90% présent dans les urines). Avant la révolution industrielle, le recyclage agricole des urines et matières fécales n'était pas dans les mœurs (période linéaire). Au XIX^{ème} siècle, la production d'engrais à partir des vidanges de fosses d'aisance a entraîné une circularité croissante qui culmine, dans les premières années du XX^{ème} siècle, avec l'adjonction de l'épandage des eaux usées brutes pour les premiers habitants connectés au tout à l'égout et même Paris aux alentours de 50% de recyclage de l'azote des excréments humains (période circulaire). Celle-ci se termine dans les années 60 avec les rejets directs d'eaux usées et l'épuration (période linéaire). La captation du phosphore dans les boues de station d'épuration permet aujourd'hui le retour d'une certaine circularité sur cet élément mais l'incinération de la moitié des boues n'aboutit qu'à 40% de recyclage du phosphore, contre environ 70% au début du XX^{ème} siècle, et une linéarité quasiment totale sur l'azote, le potassium et la plupart des autres nutriments.

Quelles seront les modalités de gestion des urines et matières fécales de l'agglomération parisienne à l'avenir ? En restant dans le paradigme actuel du tout-à-l'égout, le développement de l'incinération augmenterait encore la linéarité de son système alimentation/excrétion, comme aujourd'hui Marseille ou Strasbourg, presque totalement linéaires. Trois voies principales d'évolution semblent actuellement envisagées au niveau des stations d'épuration pour améliorer la circularité : l'épandage des boues, l'extraction de phosphore des cendres en cas d'incinération et la concentration des nutriments dans les flux déjà concentrés comme les digestats liquides. Mais la circularité restera nécessairement très limitée pour l'azote dans les stations utilisant la dénitrification. En complément, une politique de développement soutenu de la séparation à la source des urines (éventuellement conjointe avec les matières fécales) pourrait permettre de faire une transition vers un régime circulaire dans les prochaines décennies. Les techniques de séparation à la source sont encore en phase d'émergence mais bénéficient de 20 ans de retour d'expérience à l'étranger qui montrent qu'elles peuvent également permettre de répondre à d'autres enjeux, comme la réduction des gaz à effet de serre, une adaptation plus fine des techniques en fonction des typologies urbaines locales, le développement de nouvelles filières économiques créatrices d'emplois locaux ou le développement d'un mutualisme ville-campagne entre l'agglomération parisienne et les agrosystèmes qui l'entourent.